施設園芸における空気伝染性病害の発生予測と病害管理

AI病害発生予測コンソーシアム マニュアル・研究報告

要約版

2023年7月

はじめに（要約版）……AI発病予測を利用した施設栽培の病害管理……

農作物を病害虫・雑草等による害から保護し、安定して十分な量を継続的に生産するために総合防除を実践することが求められています。総合防除を実践する上では病害虫の発生を予測し、これを踏まえた管理を行うことでより合理的な被害回避ができることが期待されます。私たちは、施設園芸作物の主要病害について、AI（人工知能）を用いて開発された発病予測システムを利用した管理技術の確立を目指して研究を行いました。この研究は生物系特定産業技術研究支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」【開発研究ステージ】の支援を受け、「AI 病害発生予測コンソーシアム」を結成して、平成30年度～令和4年度に実施しました。その成果の一端を、電子書籍「施設園芸における空気伝染性病害の発生予測と病害管理」（以下、詳細版）よって公表しました。本書（以下、要約版）は、その要点をまとめたものです。詳しい研究内容や参考・引用文献等については「詳細版」を参照して下さい。各章の題名は「詳細版」と「要約版」で全て同じです。

詳細版と同様、本書も3編構成となっています。

第1編は、施設園芸のAI発病予測システムの構成と開発研究、それに利用法の概略を紹介しています。

第2編では、開発した発病予測システムを利用した病害防除の実践例を病害ごとに紹介しています。

第3編では、発病予測ソフトウエアやシステムを開発する上で参考とするため、改めて検証あるいは調査したそれぞれの病気の発生生態に関する研究成果を紹介しています。ここで得られた成果は、環境制御等による病害管理技術の開発においても今後、役に立つことが期待されます。

なお本研究プロジェクトの成果の一部は、データの新規性（オリジナリティ）を維持するため今回の掲載は見送り、今後の改訂において掲載することとします。

施設園芸で発生する菌類による空気伝染性病害のAIを用いた発生予測は最近、世の中にリリースされた新しい技術です。この技術が施設園芸における次世代の病害管理技術の発展に貢献することを期待しています。

古屋　廣光
AI病害発生予測コンソーシアム研究統括者
令和5年7月
令和6年3月追補

目　次

第1編
「施設園芸における主要病害発病予測システム:プランテクト®」

第2編
「AI発病予測システムを利用した施設栽培における空気伝染性病害管理の事例」

第3編
「施設園芸で多発する空気伝染性病害の発生生態
―トマト・キュウリ・イチゴ病害に対する気象要因の影響を中心として―」

第1編

「施設園芸における主要病害発病予測システム:プランテクト®」

施設園芸における主要病害発病予測システム「プランテクト®」

▶佐々 貴洋，伊藤 聖
（バイエルクロップサイエンス株式会社）

1. プランテクト®の概略

プランテクト®は3つのセンサーと通信機で、温度や湿度などハウス内の環境をハウスから離れた場所からでも確認できる環境モニタリングサービスである（図1）。AIによる感染予測機能を搭載し以下のことが可能である。

1）モニタリング機能

- スマートフォン・タブレット・パソコンなどでハウス内環境データをいつでもどこでも確認できる。
- 外出先でも確認できるので、見回りの回数を削減できる。
- 家族や仲間、栽培従事者などとデータの共有ができる。

2）感染リスクを予測する

- 蓄積されたデータを元に、AIがトマト・ミニトマト、キュウリ、イチゴの主な病気の感染リスクを予測する。
- 5日先までの感染リスクを予測し、病気の感染リスクが高くなったときに、その病害に登録のある「おすすめ農薬」を表示する（表示される農薬は、使用回数やFRACコードを加味している）。
- データの活用とAIの再学習により、ハウスごとに予測精度を向上させていく。
- 病気の感染リスクが高くなった時には、利用者のアプリやメールに警報が届く。

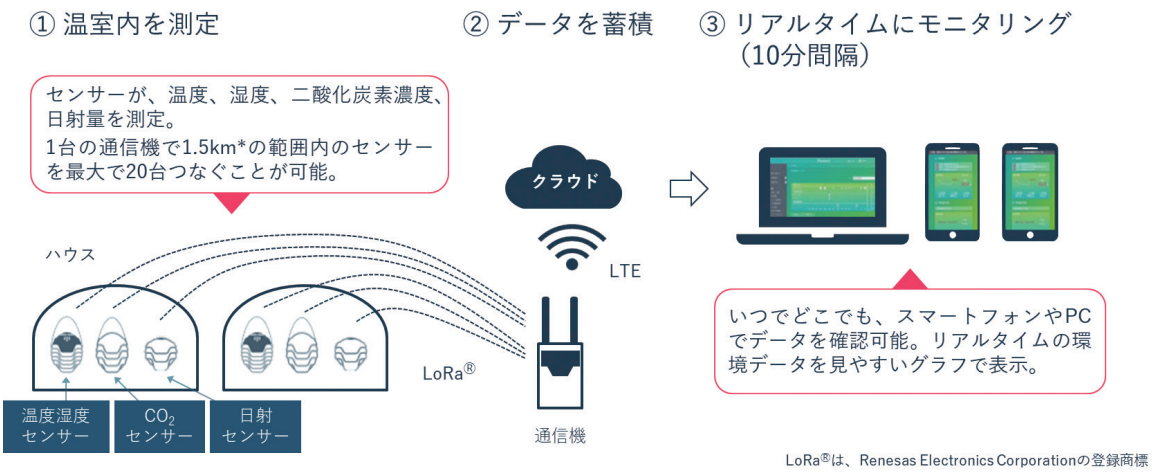
3）日々の気象状況をグラフで表示する

- 気温、相対温度、二酸化炭素濃度、日射量、露点温度、飽差、積算温度を表示する。
- ハウス内の環境をリアルタイム（10分ごと）で取得する。
- 以上のモニタリング項目はグラフで表示される。複合グラフとすることも可能である。

4）データの蓄積と活用

- 作物名・品種・栽植密度・作付開始日などをアプリに記録できる。
- 栽培中に発生した病害と日付を記録し、薬剤散布記録とあわせて振り返ることで、次作の防除計画に活用できる。
- モニタリングデータや作付け情報のデータをCSV形式でダウンロードできる。

機器やソフトウェアに関する最新情報はプランテクト®紹介サイト*を参照のこと。
注*）https://cropscience.bayer.jp/ja/home/plantect/plantect.html



LoRa®は、Renesas Electronics Corporationの登録商標

図1. プランテクト®の概要

本システムを利用するメリットは次の通りと考えている。

① **品質と収量の向上**：蓄積されたデータや病害予測機能の活用により収量の増加･安定化や品質向上をサポートする。
② **労力とコストの削減**：適切な農薬散布タイミングを個別環境に応じて通知。農薬の散布回数やコストの削減が期待できる。
③ **精神的負担の軽減**：いつでもどこでもハウス内環境を確認でき、見回りの回数を削減できる。仲間とのデータ共有も可能である。

2. AI発病予測システムとその使い方

1）感染リスクの見方

植物が病原菌に感染してから、潜伏期間を経て発病し、病斑（病徴）が現れる（図2）。プランテクト®が表示している「リスク」は感染のリスクである。これによって発病のリスクを感染のタイミングで示している。病害の被害を効果的に抑えるためには、感染前や感染が起こりやすい環境になったときに対策を実施することが重要である。詳細はプランテクト®紹介サイト「病害予測機能」*を参照のこと。

注*）https://cropscience.bayer.jp/ja/home/plantect/disease.html

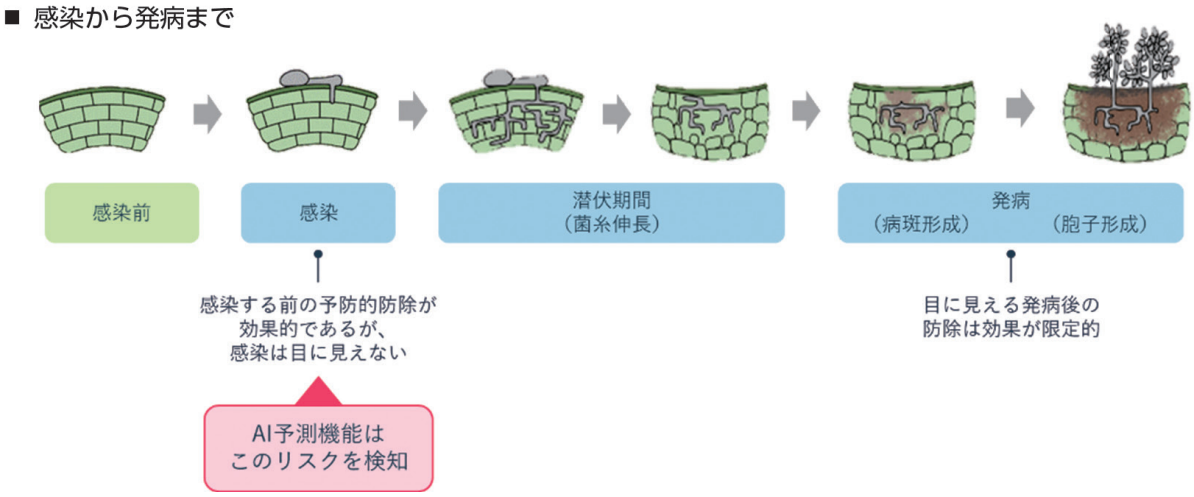


図2. 植物の空気伝染性病害の感染から発病までの経過

プランテクト®は、5日先までの感染リスクを3段階（低･中･高）及び発病する確率（病気に感染し、潜伏期間を経て発病する確率）を合わせて表示する（図3）。3段階のリスクレベルは概ね以下の確率を目安に定義しているが、表示頻度なども考慮し病害毎に異なる。病害感染リスクが高くなった時には、利用者のアプリやメールに警報が届く。

高リスク：40%以上
中リスク：20%～40%
低リスク：20%以下　（2022年7月時点）

図3. 感染リスク画面

2)「おすすめ農薬」機能について

プランテクト®では病害発生記録・感染リスクをもとに、防除効価及び残効期間を考慮し効果が期待できる農薬を「おすすめ農薬」として情報を提供している（図4）。この「おすすめ農薬」は以下を考慮して表示される。実際の使用にあたっては、利用者が薬剤の注意事項等及び免責事項を確認し薬剤散布を実施する必要がある。

- 直近の病害発生記録に病害発生の記録がある、もしくは感染リスクが高い病気に対応した農薬
- 薬剤散布記録を参照し、剤および含まれる有効成分の使用回数を超えない農薬
- 前回散布された農薬とは異なるFRACコードに属する農薬

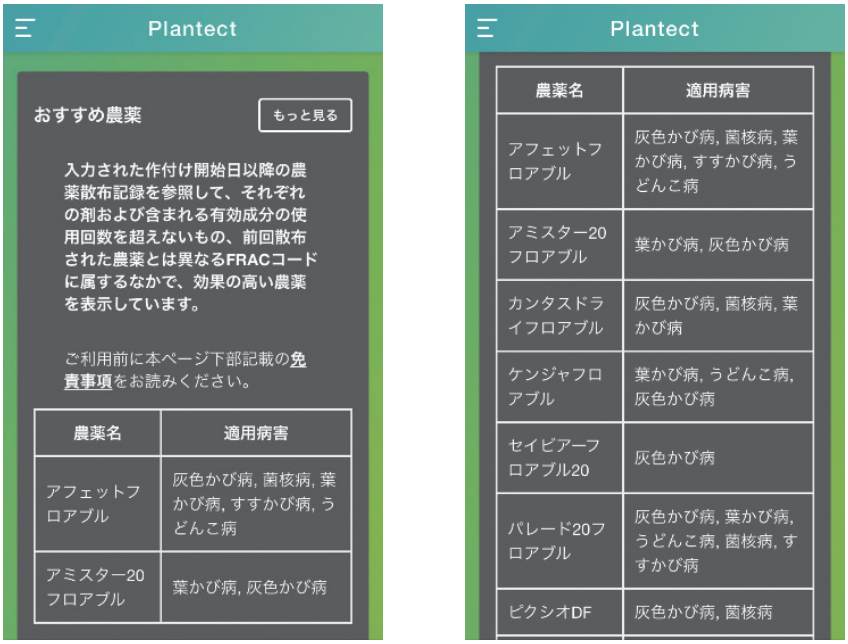


図4.「おすすめ農薬」画面

3. 病害予測の概要

機械学習により、過去の病害発生データを用いて感染したと推定される日の特徴を学習し、モデルを構築する（図5:「病害発生データの収集）。構築した機械学習モデルを用いてハウス毎に過去の感染リスク推定、将来の感染リスク予測を実施する（図5）。

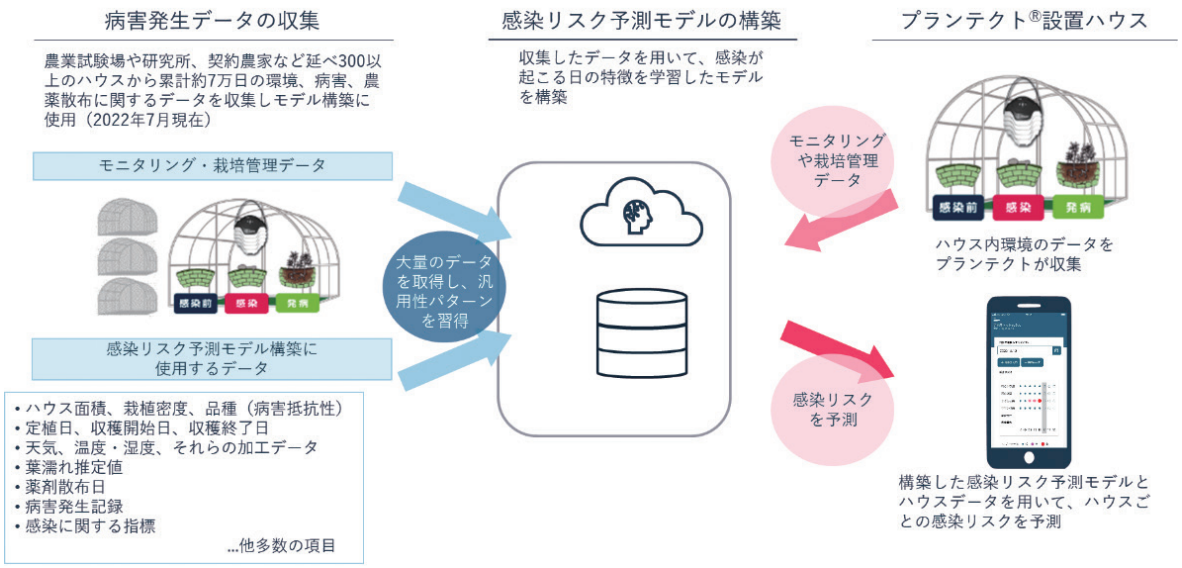


図5. 病害発生予測（感染リスク予測）システムの概要

第2編

「AI発病予測システムを利用した施設栽培における空気伝染性病害管理の事例」

本編では、AI発病予測システム（プランテクト®）を利用した病害管理の実証試験の例を紹介します。対象病害とした5病害と担当した公設試験研究機関は次のとおりです。

トマトうどんこ病（岩手県農業研究センター）
トマトすすかび病（広島県立総合研究所農業技術線ンター）
キュウリ褐斑病（福岡県農林業総合試験場）
キュウリべと病（宮崎県総合農業試験場）
イチゴうどんこ病（香川県農業試験場、福岡県農林業総合試験場、岡山県農林水産総合センター）

それぞれの病気について、試験は主に令和2年度から4年度にかけての3シーズンで実施しました。試験を行った病害の予測システムは概ね令和2年度にプランテクト®に実装され、リリースされました。実証試験はその直後から行いました。試験1年目には低、中、高の3段階で発出される予測に対応してどのようなタイミングで薬剤散布を実施するかあらかじめ散布ルールを定め、それに機械的に従うこととしました。そして翌年以降、その試験結果をもとにこのルールを改訂していきました。初年度はルールに概ね機械的に従いましたが、2年目以降には病害の発生を十分抑制することを第一の目的とした上で、病害防除と散布回数低減を両立する可能性を検証することとしました。本試験で検討を重ねる間に、より効果的に本システムを使用するために話題になったことを「おわりに」に記載していますので参考にしてください。

なお、本システムのAI発病予測ソフトウエアはアジャイル方式によって開発しております。これは、必要なスペックが達成されたと判断された段階で市場にリリースし、実際に使っていただきながらデータを収集するあるいは改良をすすめるという方法で、近年のソフトウエア開発でしばしば使われる手法です。この手法では、一旦リリースされたソフトウエアも年々改良が加えられ、またデータが蓄積されることで進化していきます。そのため、本書で紹介した事例で使われたソフトウエアと最新のソフトウエアは必ずしも全く同じではありません。ここに記載した試験例はそのようなシステムを使って実施したものです。本システムを利用した病害制御技術もシステムとともに今後さらに進化していくことが期待されます。

内　容

■ トマトうどんこ病　■ トマトすすかび病　■ キュウリ褐斑病　■ キュウリべと病
■ イチゴうどんこ病　■ おわりに
香川県 ／ 福岡県 ／ 岡山県

AI発病予測システムを利用したトマトうどんこ病の管理

▶岩舘 康哉（岩手県農業研究センター）

1. 試験の目的と方法

プランテクトの病害予測システムにおける発病予測の実用性を検証した．試験は，プランテクトを利用した区（予測防除区）と慣行の防除を行う区（慣行防除区），無防除区をそれぞれハウス1棟ずつ設け，病気の発生程度（推移）を比較する方法で実施した．

2. 試験の概要

・**試験区と薬剤散布ルール**（※実際には下記を原則として柔軟に対応した）

【予測防除区】リスクが表示された日（大リスクは1回，中リスクは累積3回），初発確認時に散布した．また，前回の散布から14日間は散布しなかった．定植後約1週間はリスクを無視した．

【慣行防除区】10日～14日程度の間隔で散布．初発確認時は防除間隔に関係無く散布．

【無 防 除 区】うどんこ病に効果のある薬剤は散布しなかった．

・**発病調査**：センサー設置箇所を中心に連続5株について1～3日毎に病斑数を調査した．

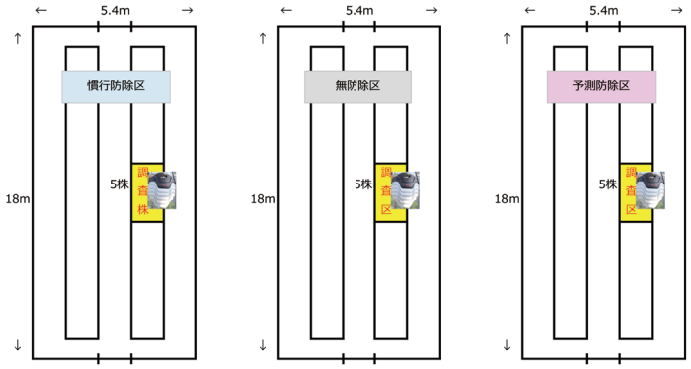


図1．試験区の配置（2020～2022年まで3年間共通）

試験期間：2020年6月22日～10月29日
2021年6月22日～10月31日
2022年6月21日～10月31日

栽培概要：品種 りんか409
台木 Bバリア高接ぎ
Uターン栽培
株間40cm･畦間150cm

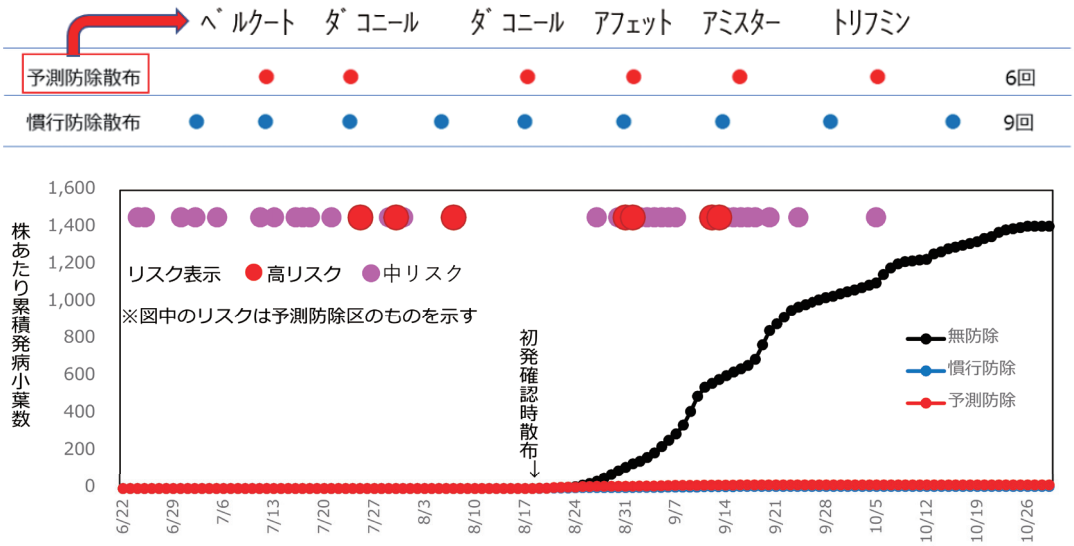


図2．発病予測を利用したトマトうどんこ病防除の実証試験（2020年）

・予測防除区の発病は，無防除区に比べて明らかに少なかった．
・同区の発病は，慣行防除区とほぼ同等で軽微．
・同区の農薬散布回数は6回．慣行防除区（9回）よりも3回少なかった．
・初発時期の予測はできなかった．

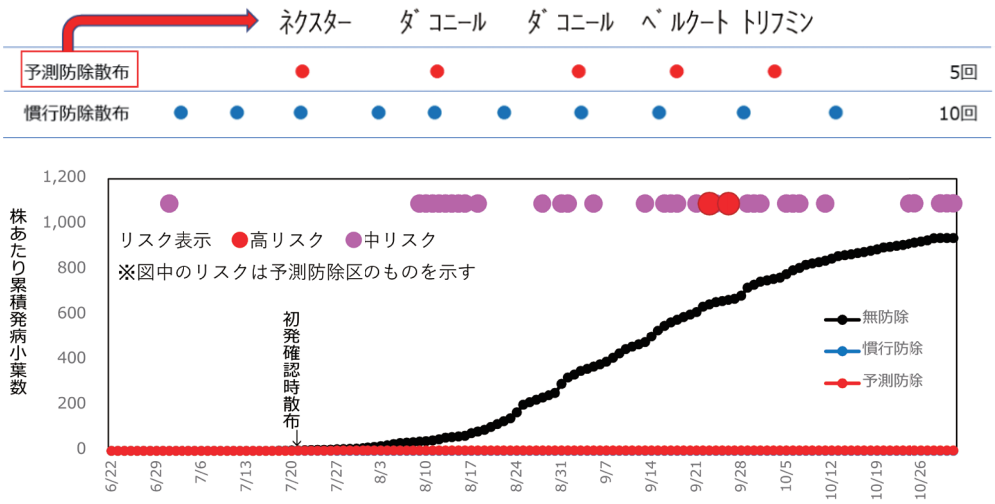


図3. 発病予測を利用したトマトうどんこ病防除の実証試験(2021年)

・予測防除区の発病は,無防除区に比べて明らかに少なかった.
・同区の発病は,慣行防除区とほぼ同等で軽微.
・同区の農薬散布回数は5回.慣行防除区(10回)よりも5回少なかった.
・初発時期の予測はできなかった.

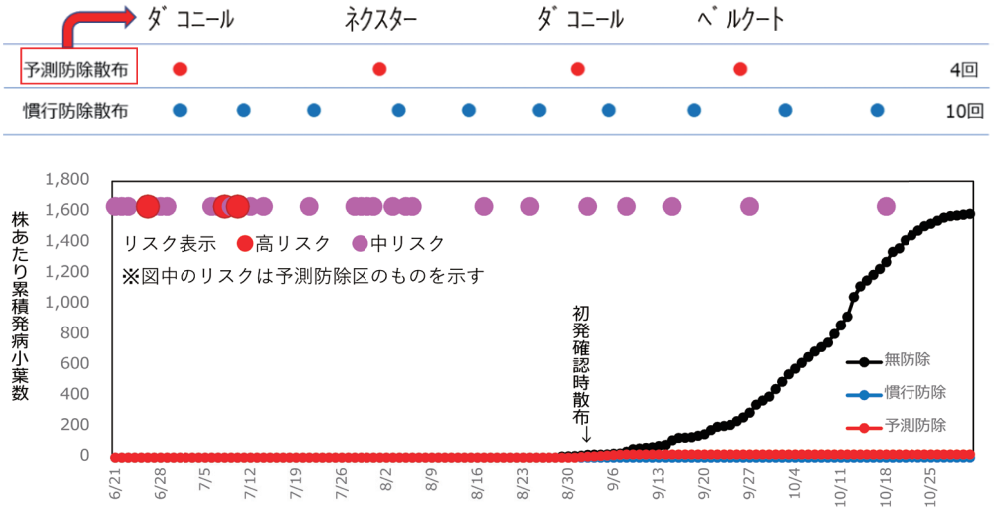


図4. 発病予測を利用したトマトうどんこ病防除の実証試験(2022年)

・予測防除区の発病は,無防除区に比べて明らかに少なかった.
・同区の発病は,慣行防除区とほぼ同等で軽微.
・同区の農薬散布回数は4回.慣行防除区(10回)よりも6回少なかった.
・初発時期の予測はできなかった.

3. 3年間の実証試験のまとめ

・予測防除区は,慣行区と同様にトマトうどんこ病の発病を抑制し,**防除回数は慣行区の4割～7割に抑えられた**(図2~4).
・病害発生予測システムで表示されたリスク表示にもとづき防除要否を判断することで,トマトうどんこ病の発病を抑制しつつ,**薬剤防除回数の削減が可能**であった.
・初発時期の予測は困難であった.

AI発病予測システムを利用したトマトすすかび病の管理

▶清水 佐知子（広島県立総合技術研究所 農業技術センター）

1. 試験の目的と方法

トマトすすかび病は、潜伏期間が10～20日と長いため、発病してからの農薬散布では十分な防除効果を得る事が難しく、発病する前に予防的に農薬を散布することが重要である。そこで、プランテクト®を用いて、農薬を散布しないでトマトを栽培し、すすかび病の感染予測と実際の発病日を比較した。また、予測をもとに防除を行うことで、慣行の防除法に比べて防除効果や農薬散布回数がどのようになるかを調査した。

2. 試験の概要

- **予測の妥当性の検証（2019年）**
  無防除で夏秋トマトを栽培し、すすかび病と感染リスクの発生を調査した。
- **予測に従った防除の実証（2020～2022年）**
  【予測防除区】リスクが表示された日（大リスクは1回，中リスクは初発時1回，それ以降は累積3回）で、前回の防除から2～3週間経過後にTPN水和剤等を散布した。
  【慣行防除区】発病が増えた日で、前回の防除から2～3週間経過後にTPN水和剤等を散布した。
  【無 防 除 区】すすかび病に効果のある薬剤は散布しなかった。
- **発病調査**：1～3日毎に全株の病斑数を調査、1区6～7株、3反復

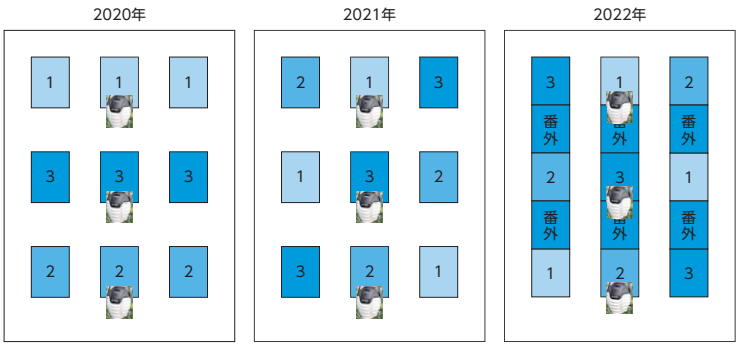


図1. 試験区の配置（1.予測防除区，2.慣行防除区，3.無防除区）

試験期間：2019年5月30日～11月30日
2020年5月29日～12月1日
2021年5月26日～12月5日
2022年5月26日～12月2日
栽培概要：品種 麗容（2019年のみ），麗月
台木 Bバリア高接ぎ
つり下げ誘引一本仕立て
株間45～58cm，畝間170cm

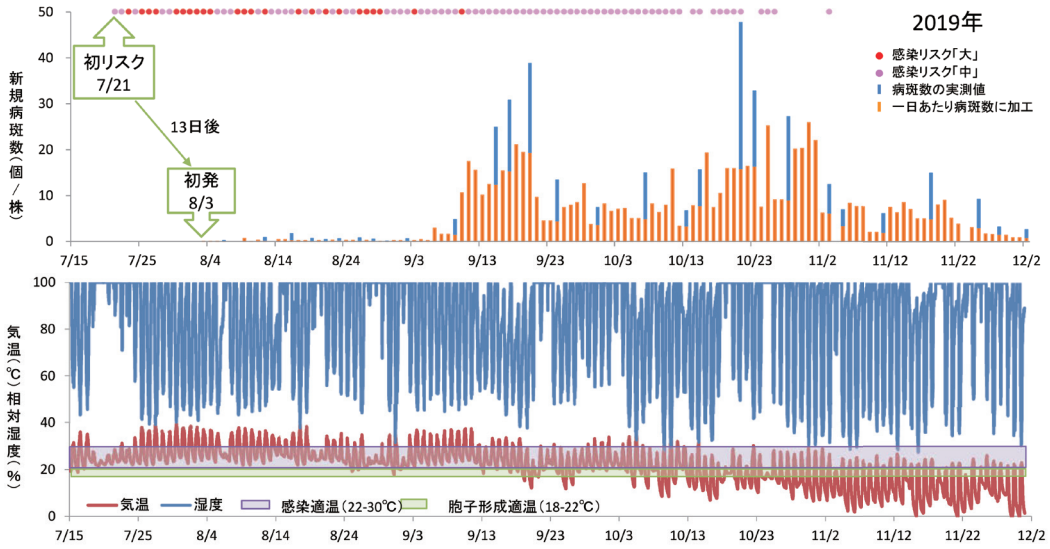


図2. トマトすすかび病の予測の妥当性の検証（2019年）

- 7月21日からの感染リスク「高」「中」予測が発出した頃に感染し、13日の潜伏期間を経て8月3日に発病したと推察できることから、予測システムがうまく機能したと考えられた。
- 感染リスクは7月21日から10月下旬まで発出されたが、胞子形成適温ではない8～9月の夏期高温期は病勢が停滞した。

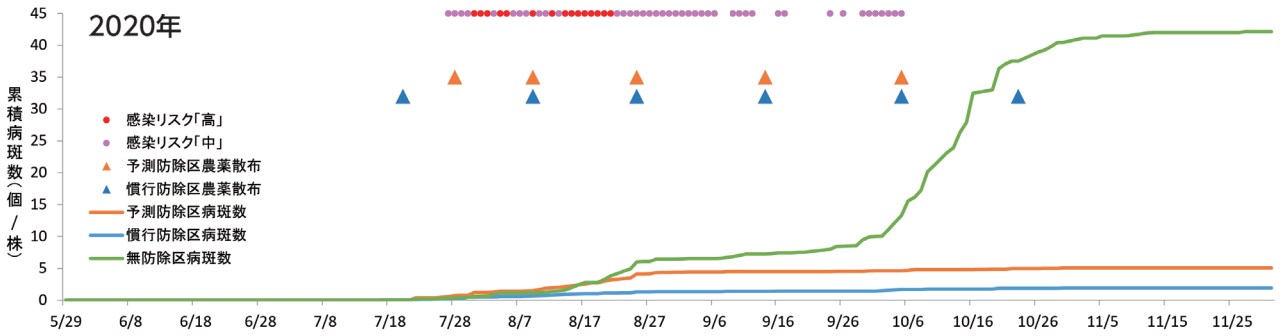


図3. 発病予測を利用したトマトすすかび病防除の実証試験（2020年）

・初発が予測できなかったが、予測防除区の散布回数は慣行防除区より1回少なかった。
・初年目は初発の予測が難しい場合がある。

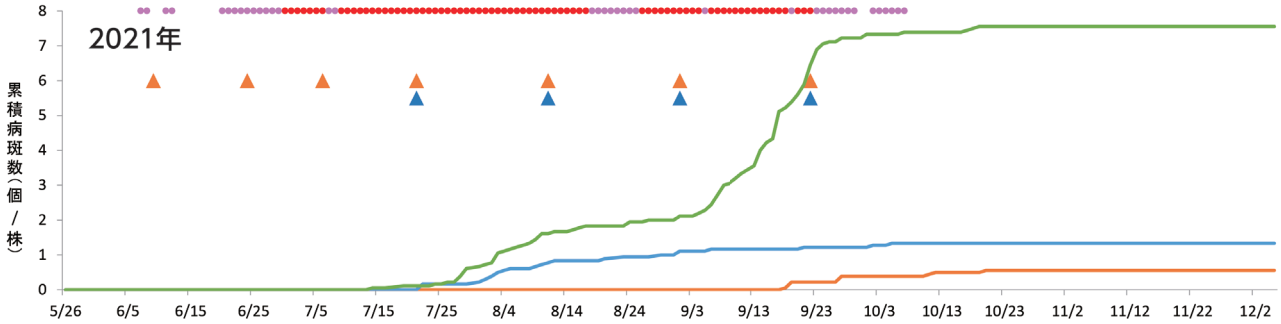


図4. 発病予測を利用したトマトすすかび病防除の実証試験（2021年）

・早い時期の予測に従った防除により、散布回数が多くなった。
・初発の警告が早いと防除回数が増える。

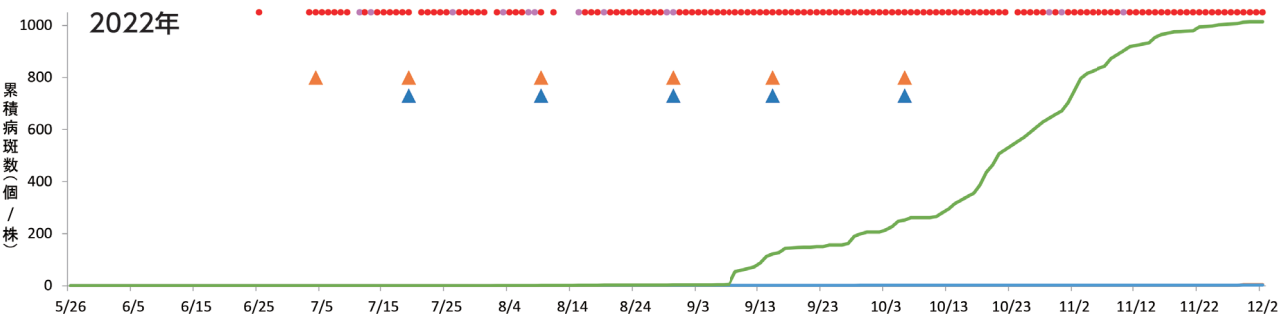


図5. 発病予測を利用したトマトすすかび病防除の実証試験（2022年）

・初発平年値よりかなり前のリスクや栽培後期のリスクは無視した薬剤散布で、散布回数は慣行防除区より1回多いが発病を低く抑制できた。
・防除が有効と考えられる時期のリスクに従うのがよい。

3. 3年間の実証試験のまとめ

・予測に従った防除区の散布回数は、防除が有効と考えられる時期のリスクに従うことで、慣行防除区とほぼ同じであった（図3-5）。これは、減農薬栽培を行っている現地慣行と同程度の散布回数であった。
・病気の発生は、無防除区よりもかなり少なく、慣行防除区と同程度の防除効果が認められた（図3-5）。

AI発病予測システムを利用したキュウリ褐斑病の管理

▶菊原 賢次（福岡県農林総合試験場）

1. 試験の目的と方法

プランテクトの病害予測システムにおける発病予測の実用性を検証した。試験は、プランテクトを利用した区（予測防除区）と慣行の防除を行う区（慣行防除区）、無防除区を同一ハウスに設け、病気の発生程度（推移）を比較する方法で実施した。

2. 試験の概要

・**試験区と薬剤散布ルール**

【予測防除区】初 発 ま で：高リスク1回、中リスク1回で翌日に散布。

初発確認時：前7日間に薬剤散布実績がなければ散布。

初発確認後：高リスク1回、中リスク累積3回で散布。前回の散布から7日間はリスク表示を無視した。

【慣行防除区】10日～14日程度の間隔で散布。初発確認時は防除間隔に関係無く散布。

【無 防 除 区】うどんこ病に効果のある薬剤は散布しなかった。

・**発病調査**：上位5～10葉について、7日間隔で発病程度別に調査し、発病度を算出した。

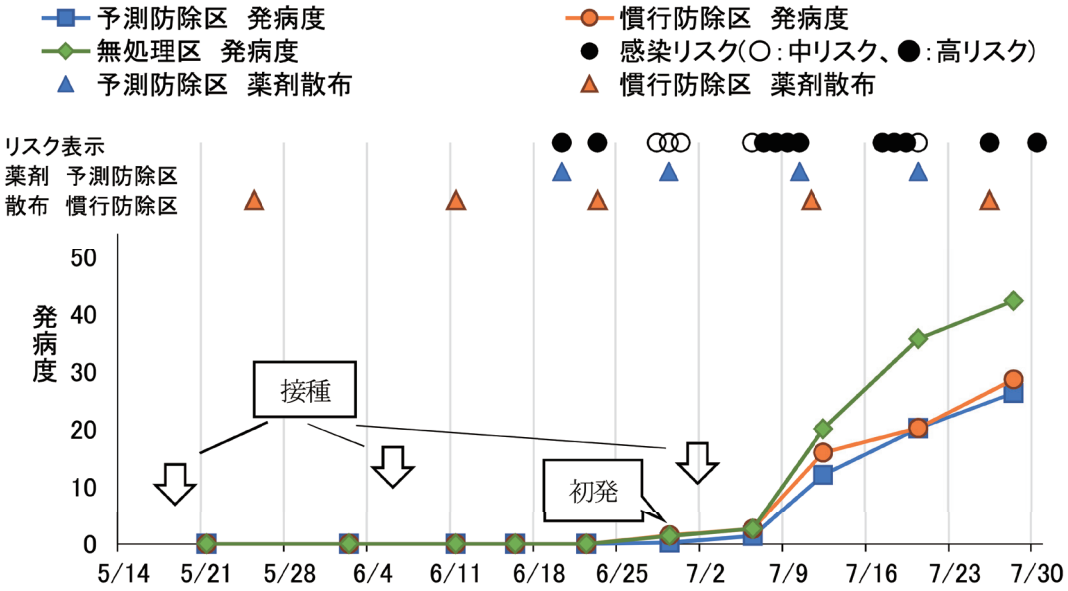


図1. 発病予測を利用したキュウリ褐斑病防除の実証試験（2022年）

・初発（6月29日）前の6月20日に高リスクが初めて表示された。
・予測防除区の初発前の防除回数は1回で慣行防除区より2回少なかった。
・予測防除区の発病度は、慣行防除区と同程度であった。
・本試験では無防除区の発病葉が伝染源となり、薬剤の防除効果が低下した可能性があった。

3. 実証試験のまとめ

・伝染源がある条件で、初発時期の予測が可能である。
・初発前の防除を削減できる可能性がある。
・AI予測に基づいた防除は慣行防除と同等に発病が抑制できる。
・発病好適条件が続く時期はリスク表示が連続して発出されるため、リスクに応じた防除をすると定期散布と同様になる。

AI発病予測システムを利用したキュウリべと病の管理

▶櫛間 義幸（宮崎県総合農業試験場）

1. 試験の目的と方法

プランテクト®の病害予測システムにおける発病予測の実用性を検証した。試験は、同一ハウス内にプランテクト®を利用した区（予測防除区）と慣行の防除を行う区（慣行防除区）、無防除区をそれぞれ設け、病気の発生程度（推移）を比較する方法により、2020年度から3年にわたって実施した。ただし、2021年度は栽培期間を通じて本病の発生が見られなかったことから省略した。

2. 試験の概要

・**試験区と薬剤散布ルール**（※実際には下記を原則として柔軟に対応した）

【予測防除区】 リスクが表示された日（高リスクは1回、中リスクは累積3回）、初発確認時に散布した。また、前回の散布から10日間（2022年度は7日間）は散布しなかった。

【慣行防除区】 初発までは7日間隔で散布を行い、発生確認後は7～10日間隔で散布した。

【無 防 除 区】 べと病に効果のある薬剤は散布しないよう努めたが、2020年度はうどんこ病・褐斑病対策としてダコニールを使用した。

・**発病調査**：約7日間隔でべと病の発生状況を調査した。2020年度は各試験区概ね100葉（計300葉）について発病程度別に、2021年度は各試験区200葉（計600葉）について発病の有無を調査した。

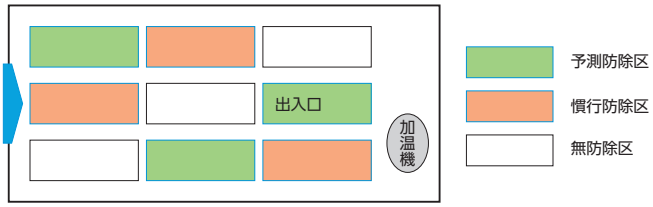


図1. 試験区の配置（2020年の例）

【2020年度】
試験期間：2020年10月16日～2021年1月7日
栽培概要：品種 千秀2号、ゆうゆう一輝黒
畦幅 1.6m、株間40cm
つる下ろし栽培

【2022年度】
試験期間：2022年10月14日～2023年1月19日
栽培概要：品種 エクセレント節成2号、ゆうゆう一輝黒
主枝4本仕立て、摘心栽培
畦幅 1.6m、株間35cm

［2020年度試験における農薬散布状況］

	10/20	10/26	11/2	11/9	11/19	11/22	11/30	12/5	12/10	12/18
予測防除区	ダコニール	パンチョTF	カリグリーン	ランマン+スミレックス	ダコニール	フォリオゴールド	カリグリーン	カスミンボルドー	―	ザンプロDM
慣行防除区	ダコニール	パンチョTF	カリグリーン	ランマン	フォリオゴールド	―	カスミンボルドー	―	―	―
無防除区	ダコニール	パンチョTF	カリグリーン	スミレックス	ダコニール	―	カリグリーン	―	ジーファイン	―

治療剤　予防剤　その他の剤

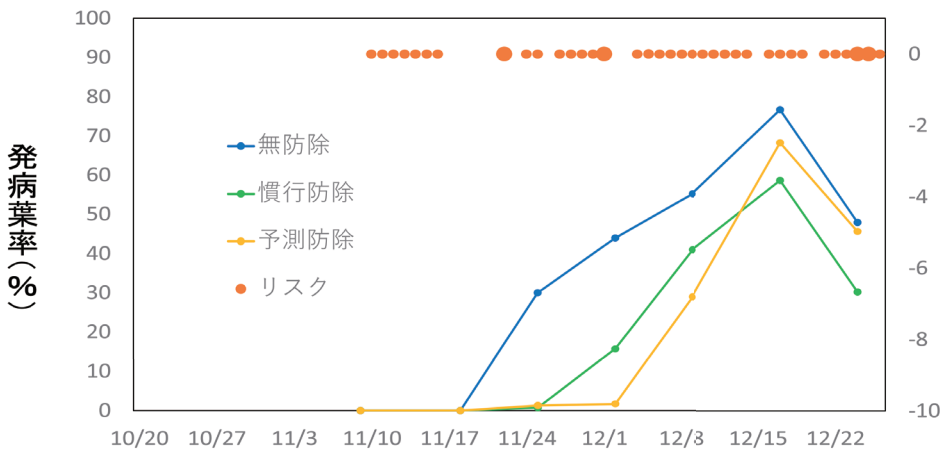


図2. 発病予測を利用したキュウリべと病防除の実証試験（2020年度）

【2020年度 試験結果の概要】

・プランテクト®の最初のリスク(中)表示以降、ほぼ連続してリスクが発出されたため、試験期間中、予測防除区の散布間隔(平均11.8日)は慣行防除区(平均12.8日)とほとんど差が見られなかった。

・予測防除区の発病は、無防除区に比べて明らかに少なかった。

・予測防除区及び慣行防除区とも、無防除区に比べて明らかにべと病の発生が少なく、被害が軽減された。

［2022年度試験における農薬散布状況］

月　日	10/18	10/26	10/28	11/2	11/4	11/7	11/9	11/14	11/17	11/24
予測防除区	モレスタン	ダコニール	カリグリーン		モレスタン	ジマンダイセン		ダコニール	カリグリーン	
慣行防除区	モレスタン	ダコニール	カリグリーン	ジマンダイセン	モレスタン		ダコニール	ダコニール	ランマン+カリグリーン	ダコニール
無防除区	モレスタン		カリグリーン		モレスタン				カリグリーン	

月　日	11/28	12/1	12/8	12/9	12/16	12/23	12/30	1/6
予測防除区	ランマン		ダコニール	パンチョ	アミスター20	ランマン	ダコニール	カスミンボルドー
慣行防除区	ランマン	アミスター20	カンパネラ	パンチョ	ザンプロ	ランマン	ダコニール	カスミンボルドー
無防除区				パンチョ				

治療剤　予防剤　その他の剤

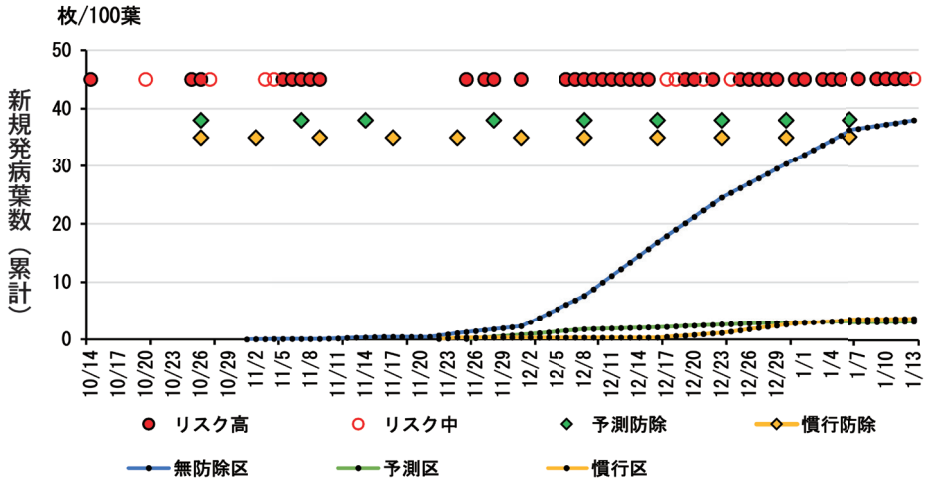


図3. 発病予測を利用したキュウリべと病防除の実証試験(2022年度)

【2022年度 試験結果の概要】

・定植後、2か月近く好天に恵まれ、感染リスクの表示が少なかったことから予測防除区では、試験前半の防除回数が減少した。

・その後、後半はほぼ毎日感染リスクが表示され、7日間隔での防除となった。

・無防除区において11月下旬から次第にべと病が増加・蔓延したのに比べ、予測防除区及び慣行防除区ではほとんど発生が見られず、また両区に差は認められなかった。

3. 実証試験のまとめ

・予測防除区は、慣行区と同様にキュウリべと病の発病を抑制した(図2~4)。

・病害発生予測システムで表示されたリスク表示にもとづき防除要否を判断することで、キュウリべと病の発病を抑制しつつ、薬剤防除回数を削減できる可能性が示唆された。

AI発病予測システムを利用したイチゴうどんこ病の管理（香川県の事例）

▶西村 文宏（香川県農業試験場）

1. 試験の目的と方法

プランテクトシステムを用いて感染リスクを推定し、それをもとに薬剤散布を行うことで、防除暦に従った定期的な慣行防除に比べて防除効果や農薬散布回数がどのように変化するか調査した。試験は、プランテクトの感染リスク予測に応じて薬剤散布を行う区（予測防除区）と慣行の防除暦に従って薬剤散布を行う区（慣行防除区）を一つのハウスに設け、適宜病気の発生状況を調査した。

2. 試験の概要

・**試験区と薬剤散布ルール**

【予測防除区】初発までは感染リスク「中」または「高」1回、発生後は感染リスク「中」3回または感染リスク「高」1回で薬剤散布。薬剤は防除暦の該当時期の近傍から選択し、薬剤散布後7日以内の感染リスクは棄却した。

【慣行防除区】JA香川県防除暦（香川県監修）にしたがって薬剤散布

注）2020、2021年は両区とも、前回調査時から発病小葉率が低下していれば追加の薬剤散布は行わなかった。2022年は両区とも、発病を確認した後、発病を認めなくなるまで原則、3週間連続散布を行った。

・**発病調査**：7日毎にあらかじめ定めた24株の上位3複葉の病斑の有無について小葉別に肉眼で調査を行い、発病小葉率を算出した。試験は3反復で実施した。前回調査時よりも発病小葉率が増加している日に、プランテクト®に「病害発生」を入力した。

・**収量調査**：各区あらかじめ定めた8株についてうどんこ病の発生していない果実を収穫し、重量を計測した。

図1. 試験区の設定（2020～2022年まで3年間共通）

試験期間：
2020年10月9日～2021年5月6日
2021年9月16日～2022年4月7日
2022年9月15日～2023年4月28日
栽培概要：
品種「さぬき姫」
ピートバック栽培、株間20cm、条間12cm
256株/区

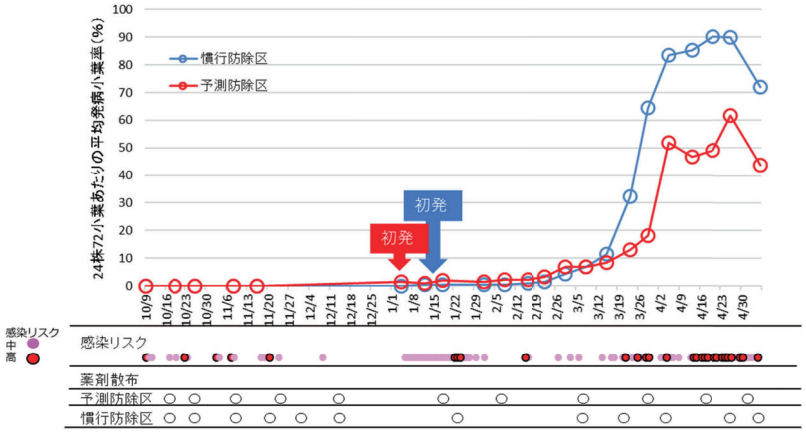


図2. 発病予測を利用したイチゴうどんこ病防除の実証試験（2020年）

・農薬の散布回数は慣行防除区が12回に対して、予測防除区が11回となった。
・3月15日以降、慣行防除区の方が発病小葉率が高く推移した。

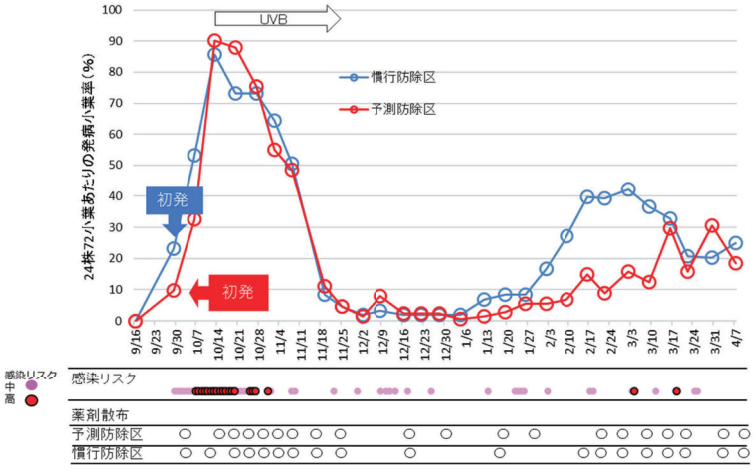
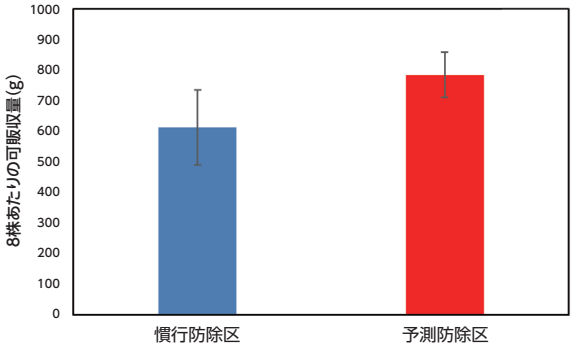


図3. 発病予測を利用したイチゴうどんこ病防除の実証試験（2021年）

・農薬の散布回数は慣行防除区が19回に対して、予測防除区が20回となった。
・1月4日以降、概ね慣行区の方が発病小葉率が高く推移した。
・うどんこ病の発生を抑える目的で、10月16日から11月30日までUVB照射を行った。定植直後から両区ともにうどんこ病が発生した原因として、育苗期に薬剤散布を行わずUVB照射しか行っていなかったことから、多数の潜在感染株が本圃に持ち込まれたことが考えられた。



調査法：2022年2月4日から3月15日の間、あらかじめ定めた8株について、うどんこ病未発生の果実を随時収穫して調査した。試験は3反復で実施した。

図4. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴ可販果実の収量（2021年）
（エラーバーは標準偏差を示す）

・統計解析による有意差は見られないものの、予測防除区では慣行防除区と比べてうどんこ病未発病の果実が多く、慣行防除区と比較して高い収量が確保された。

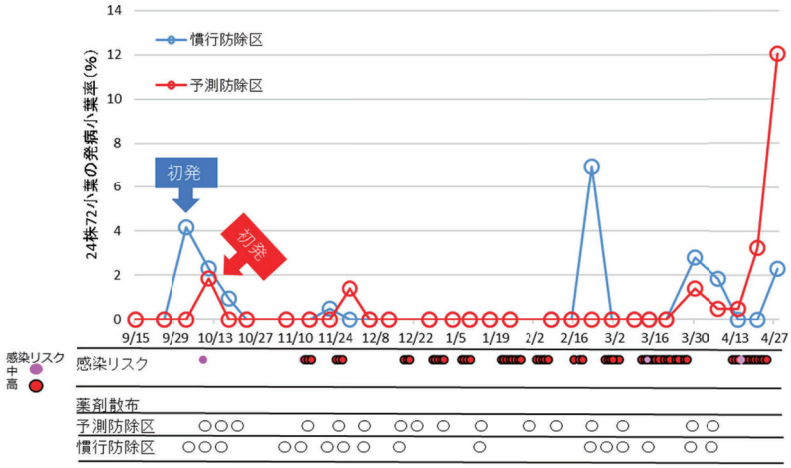
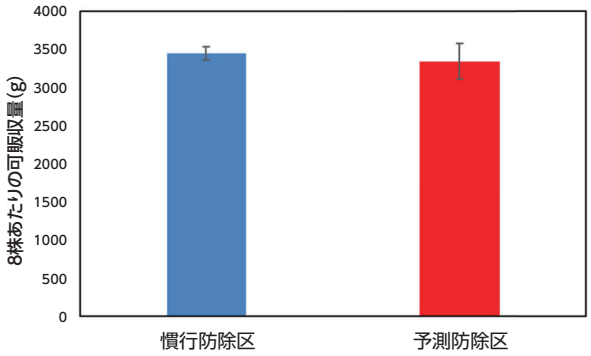


図5. 発病予測を利用したイチゴうどんこ病防除の実証試験（2022年）

・散布回数は慣行防除区、予測防除区ともに16回となった。
・両区ともに発生を認めると3週連続薬剤散布を行っていることから、発生程度の差はほとんど見られなかった。



調査法：2022年11月22日から2023年4月28日の間、あらかじめ定めた8株について、うどんこ病未発生の果実を随時収穫して、調査した。試験は3反復で実施した。

図6. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴ可販果実の収量（2022年）
（エラーバーは標準偏差を示す）

・慣行防除区及び予測防除区で、同程度の収量が得られた。

3. 3年間の実証試験のまとめ（表1）

・発病小葉数は慣行防除区に対して予測防除区の方が少なかった。
・薬剤散布回数は予測防除区と慣行防除区でほぼ同様であった。
・収量は慣行防除区に対して予測防除区の方が多い傾向であった。
・初発時期の予測は困難であった。

表1. 予測防除区と慣行防除区の散布回数、発病程度及びイチゴ可販果実収量

試験区	散布回数	発病小葉数[1)]	収量[2)](g)
2020年作			
予測防除区	11	231.0 ± 131.0	
慣行防除区	12	387.7 ± 90.2	
2021年作			
予測防除区	20	432.3 ± 222.2	785.0 ± 74.1
慣行防除区	19	556.7 ± 262.2	614.0 ± 122.1
2022年作			
予測防除区	16	15.0 ± 17.3	3348.6 ± 230.9
慣行防除区	16	15.7 ± 22.9	3459.5 ± 86.2

1) 24株72小葉の3反復の平均値と標準偏差

2) 可販果実収量：2021年作は2/4～4/5、2022年作11/22～4/28の収量（8株あたり3反復の平均値と標準偏差）

AI発病予測システムを利用したイチゴうどんこ病の管理（福岡県の事例）

▶菊原 賢次 （福岡県農林総合試験場）

1. 試験の目的と方法

プランテクトの病害予測システムにおける発病予測の実用性を検証した．試験は，プランテクトを利用した区（予測防除区）と慣行の防除を行う区（慣行防除区），無防除区を同一ハウスに設け，病気の発生程度（推移）を比較する方法で実施した．

2. 試験の概要

「あまおう」を2022年9月24日に定植し、同一ハウスに予測防除区と慣行防除区を2区設置した。伝染源として、区の中央にうどんこ病発病株を定植した。

・**試験区と薬剤散布ルール**

【予測防除区】 初発までは感染リスク「中」または「高」1回、発生後は感染リスク「中」3回または感染リスク「高」1回で薬剤散布。薬剤は慣行防除暦の近傍から選択し、薬剤散布後7日間の感染リスクは除外した。緊急散布として、発病葉面積5%以上の発病が観察された場合、リスクがなくても追加散布を実施し、年内は発病が観察されなくなるまで、散布を継続した。

【慣行防除区】 地域の慣行防除暦に準じ、10～20日間隔で薬剤散布した。緊急防除として、発病葉面積5%以上のとき、緊急散布を実施し、年内は発病が観察されなくなるまで、散布を継続した。年内は発病が見えなくなるまで散布を継続した。

・**発病調査**：葉の発生状況について、7日毎に上位3複葉を調査した。
収穫果の発病の有無を調査し、発病果率を算出した。

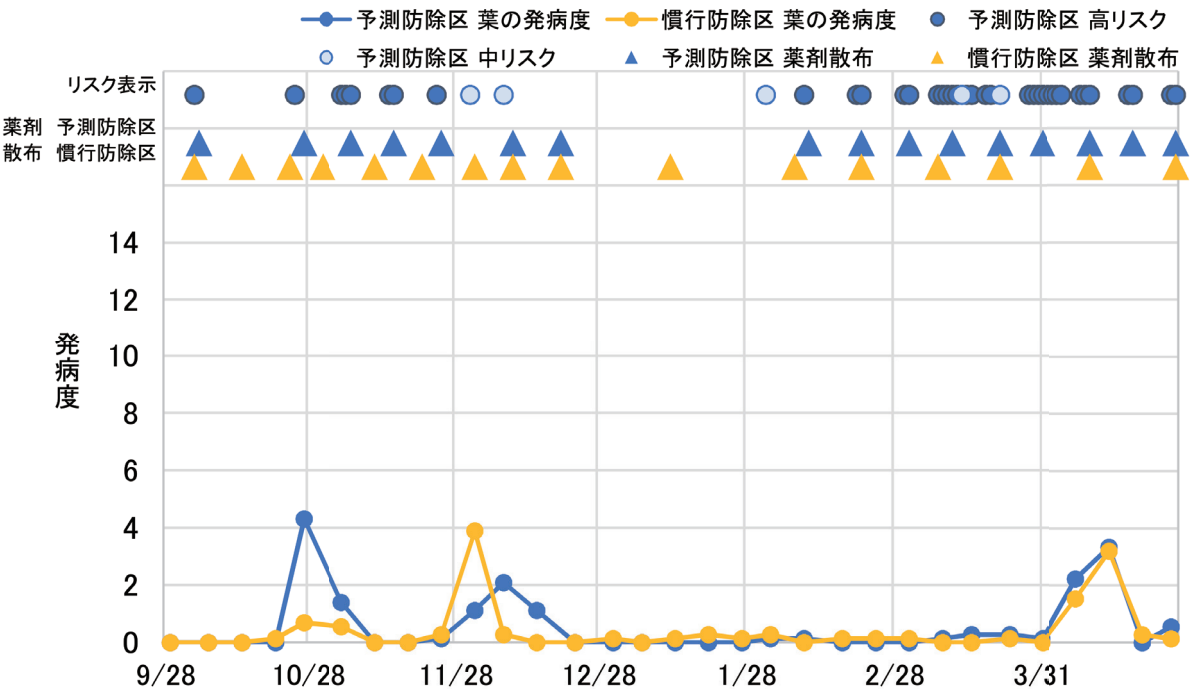


図1. 発病予測を利用したイチゴうどんこ病防除の実証試験における葉の発病推移（2022～2023年）

・予測防除区では、10月4日から11月24日まで散発的に発出された「高」に応じて薬剤を5回散布した。その後、「中」が2回発出され、12月8日に発病指数2の病斑が確認されたため、2回の緊急散布を実施した。2月以降、断続的に発出された「高・中」に応じて9回散布した。
・慣行防除区は10月～11月に10日間隔で6回、薬剤を散布した。12月2日に発病指数2の発斑が確認され、3回緊急散布を実施した。1月から4月に7回散布した。
・両区とも防除回数は合計16回で、葉の発病程度も同様に少なかった。
・「中」2回後に発病がみられ、緊急防除を行った。圃場の発生状況等を考慮した散布ルールが必要と考えられる。

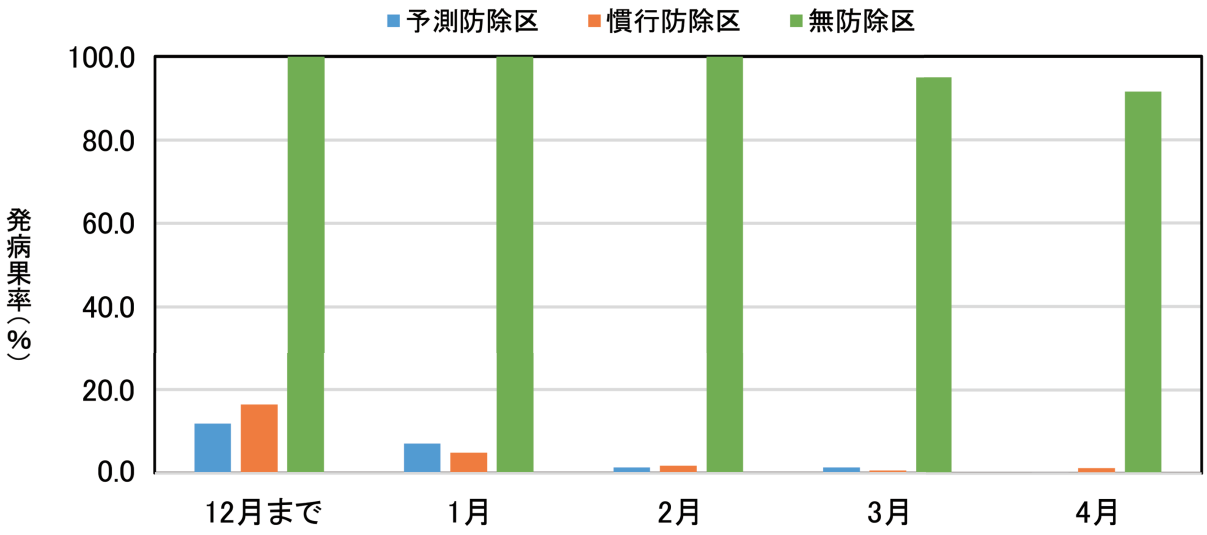


図2. 予測防除区と慣行防除区におけるうどんこ病発病果率

・予測防除区の12月までの収穫果の発病果率は10%程度であったが、その後減少し、年間を通じて少なく推移した。慣行防除区の発病果率も同様であった

3. 実証試験のまとめ

・伝染源がある条件で、プランテクト®が発出する感染リスクはその後の発病を概ね予測できた。
・予測防除は慣行防除と同等の散布回数で同程度にうどんこ病を抑制した。
・本システムを効率的に運用するには圃場の発生状況や生育ステージに応じた感受性等を考慮して、リスク表示に対応する必要があると考えられた。

AI発病予測システムを利用したイチゴうどんこ病の管理（岡山県の事例）

▶鳴坂 義弘・鳴坂 真理（岡山県農林水産総合センター）

1. 試験の目的と方法

プランテクト®の病害予測システムにおける発病予測の実用性を検証した。試験は、プランテクト®を利用した区（予測防除区）と慣行の防除を行う区（慣行防除区）、無防除区をそれぞれ設け、病気の発生程度（推移）を比較する方法で実施した。

2. 試験1の概要

- **試験区と薬剤散布ルール**（※実際には下記を原則として柔軟に対応した）
  - **【予測防除区】**リスクが表示された日（高リスクは1回、中リスクは7日以内に累積3回）、初発確認時に散布した。また、前回の散布から7日間は散布しなかった。
  - **【慣行防除区】**14日程度の間隔で散布。初発確認時は防除間隔に関係無く散布。
  - **【無 防 除 区】**うどんこ病に効果のある薬剤は散布しなかった。
- **発病調査**：1～3日毎に病斑数を調査した。

試験期間：2022年8月4日～ 2023年2月11日
栽培概要：品種 はるひ及びよつぼし
高設栽培
各試験区とも同一ハウスにおいて各品種を18株栽培

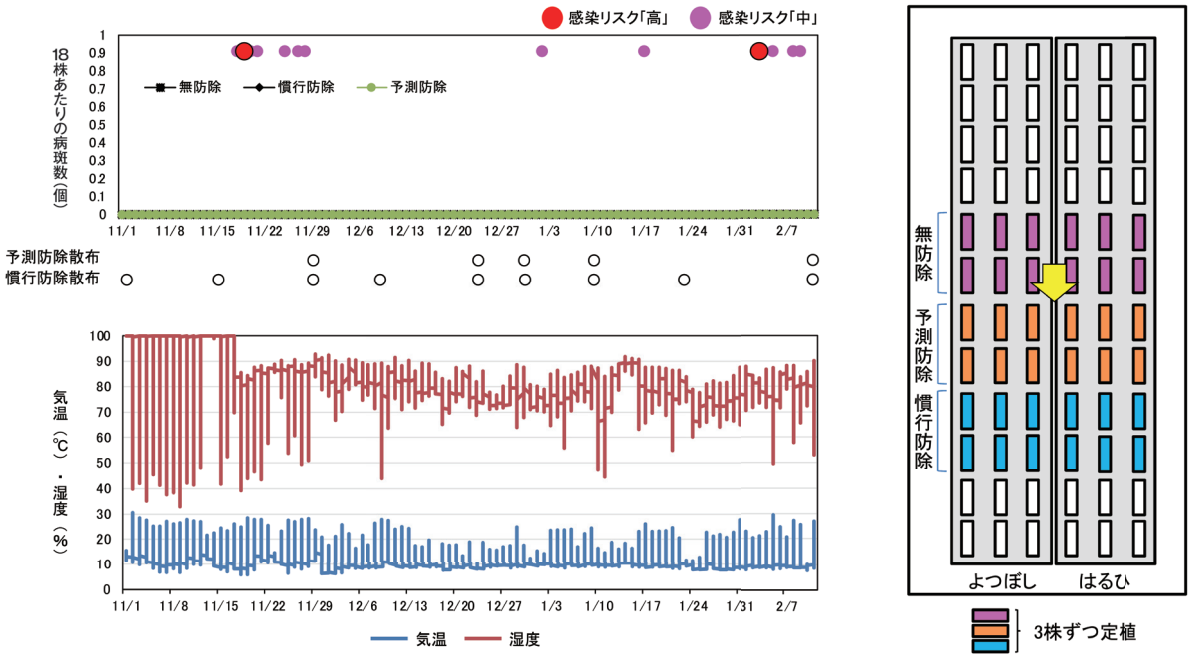


図1. イチゴうどんこ病の発生と感染リスクの推移（左上図）、その間の気温と湿度の状況（左下図）および試験区の配置（右図）（矢印はプランテクト®の設置位置）

- 本試験では、無防除区、慣行防除区、予測防除区ともにうどんこ病の発病は認められなかった。
- 予測防除区の農薬散布回数は、無防除区に比べて明らかに少なかった。
- 慣行防除区、予測防除区において収量に差は認められなかった。

3. 試験2の概要

・**試験区と薬剤散布ルール**（※実際には下記を原則として柔軟に対応した）

【予測防除区】リスクが表示された日（高リスクは1回、中リスクは7日以内に累積3回）、初発確認時に散布した。
また、前回の散布から7日間は散布しなかった。

・**発病調査**：センサー設置箇所を中心に各区24株について1～3日毎に病斑数を調査した。

試験期間：2021年6月15日～ 2022年5月16日
栽培概要：供試品種 章姫
高設栽培
ハウス面積5a、約5000株を植栽
その内24株を発病調査に用いた

図2. 試験圃場（矢印はプランテクト®の設置位置）

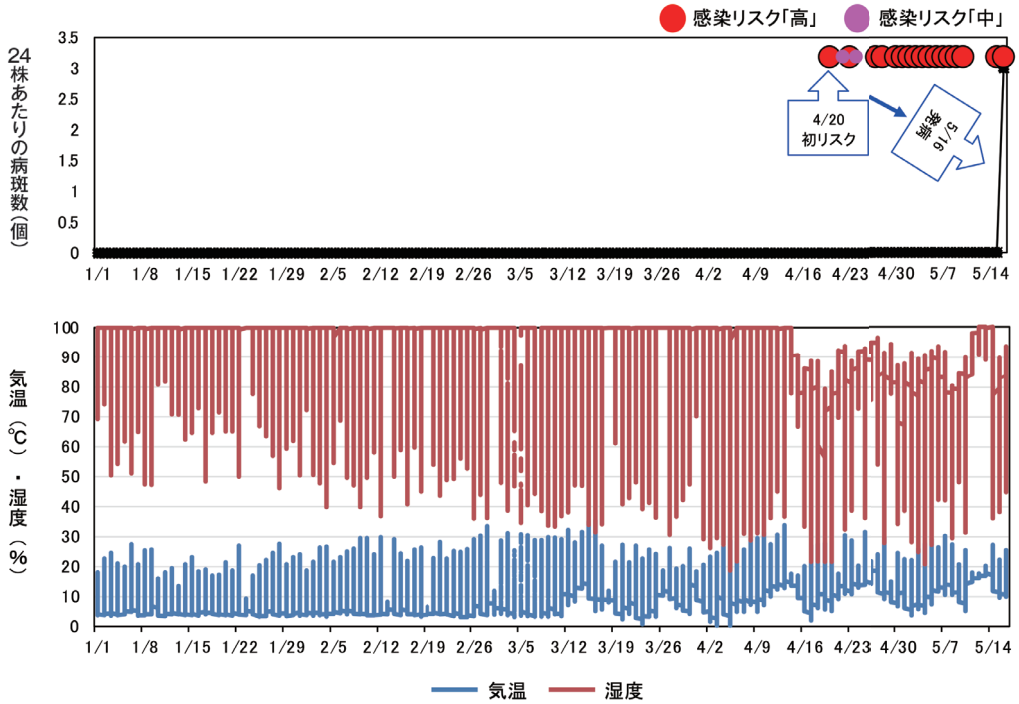


図3. イチゴうどんこ病の発生と感染リスクの推移（上図）および、その間の気温と湿度の状況（下図）

4. 実証試験のまとめ

・予測防除区の防除回数は慣行区の6割に抑えられた。

・病害発生予測システムで表示されたリスク表示にもとづき防除要否を判断することで、イチゴうどんこ病の発病を抑制しつつ、薬剤防除回数の削減が可能と考えられる。

おわりに

本編では、発病予測システムがリリースされた直後の3年間にわたって実施した病害防除の実証試験を紹介しました。試験を繰り返すうちに、本システムをより効果的に利用する方法がいくつか考えられるようになりました。ここにその一端を記述します。なお「はしがき」にも書いたように、本システムの感染リスク予測機能は今後とも進化していき、これを用いた防除技術もより発展していくことが期待されます。本項の記載は、あくまでも現時点（R5年3月）での考察であることをご承知おきください。

本研究プロジェクトで延べ19回行った実証試験の主な結果を表1にまとめました。このうちの16例は本マニュアルで紹介されていますので、詳しい内容はそちらで確認してください。試験の多くは自然発生（病原菌を接種しない）条件下で行いましたので、無防除区における病気の発生程度は試験によってまちまちで、激しく発生したこともあれば、ほとんど発生しないこともありました。19例の試験のうち16例（84%）において、AI予測システムを利用した防除試験区（以下、予測防除区）では、慣行法で防除した区（以下、慣行防除区）と同程度かそれ以下に病気の発生を抑えることができました。残りの3例では慣行区よりやや多くの発病が見られましたが、収穫量等への被害としては顕著な差はありませんでした。薬剤散布回数については、11例で予測防除区が慣行防除区よりも少なくなりました。中には慣行法の農薬散布の4-7割を削減できた例（トマトうどんこ病）もありました。慣行区より多かったのが4例ありましたが、このうちの2例は減農薬栽培を慣行区としましたので通常の栽培より散布回数は減りました（トマトすすかび病）し、1例では慣行防除区より発病がやや低減し、有意差は見られませんでしたが比較的高い収量が得られました（イチゴうどんこ病）。

本プロジェクトで実施した実証試験は、あらかじめ定めたルールに厳密に従って農薬を散布することから始めましたが、試験例が蓄積されるにつれて慣行防除の技術や背景にある考え方がとても参考になることが明らかになってきました。これらとともにAIによる感染リスクを参考にすることが有効と考えられます。以下にその概要を述べます（関連する記載が具体的な例とともに詳細版 第1編p.10「5）リスク表示後の対応について」にあります）。

- 例年、病気の発生が見られない時期に感染リスクが高まった時には、圃場観察を丁寧に行なって圃場の状況を考慮し、あるいは慣行法を参考にして農薬散布の判断をすることが望まれます。気象要因は感染しやすい条件になっていても、病原菌が極端に少ない場合などには病気が発生しないことがあります。本研究プロジェクトでもトマトすすかび病でこのようなことが見られましたが、その地域の慣行法において農薬散布が有効とされる時期にリスク表示を利用することなどにより、不必要な散布を避けることができました。
- 病気によっては、徹底的に防除する必要がある場合（時期）と必ずしもそうではない場合があります。例えば、作物や地域によっては栽培シーズンの前半においては徹底した防除が必要であるのに対し、後期あるいは末期になって収量や収益に影響を及ぼさないと判断できるような場合には薬剤散布の必要性は少なくなることもあります。本試験でもイチゴうどんこ病でこのようなことがありました。慣行技術ではこのようなことも考慮されています。
- 本編で紹介した病気はいずれも発生初期の防除が重要です。シーズンの最初の発生は伝染源の密度など本システムでモニタリングしていない要因の影響を強く受けますが、これらはハウスごとに大きく違うことがあり、ことに学習材料が十分に蓄積されていないうちは正確な予測が難しいことがあります。このことを踏まえて、本編で紹介した試験事例の多くでは、この時期の薬剤散布ルールについて、地域の慣行技術や経験及び発生状況をもとに、より適切と考えられる方法を採用していますので参考にしてください。初発時期の防除にあたっては、感染リスクの発出だけに頼らず、これまでの経験を踏まえるとともに慣行技術を参考にしてより丁寧に対応することが望まれます。

本システムにおける感染リスクの計算にあたっては、当該の栽培における耕種概要や栽培条件等も使用していますので、これが十分与えられていない時には予測精度が低下することも考えられます。また、本システムでは長い間に蓄積された科学的知見を利用し、国内の広い範囲で収集された数多くの病害発生記録を学習材料として利用していますが、それで我が国における当該病害の全ての発生実態を踏まえているかはまだ明らかでありません。まだ経験したことのない発生様相に出くわした時には必ずしも正確に予測できないことも想定されます。栽培施設の日々の生育状況などを観察し、それを参考にしながら効果的な病害管理技術を選択して実施することが望まれます。AIを用いた発病予測ではこの

表1. AI発病予測を利用した病害防除実証試験の結果一覧

No.	試験年度	予測区の病害発生状況（慣行区との比較）[1]	薬剤散布回数		
			慣行区	AI予測区	AI予測区と慣行区との差（予測区-慣行区）
トマトうどんこ病 (pp.17-25)					
1	2020	同等	9	6	-3
2	2021	同等	10	5	-5
3	2022	同等	10	4	-6
トマトすすかび病* (pp.28-33)					
4	2020	やや多	6	5	-1
5	2021	やや少	4	7	+3
6	2022	同等	5	6	+1
キュウリ褐斑病[2] [pp.34-37, 10)のみ記載]					
7	2020(1)	やや多	10	1	-9
8	2020(2)	やや多	7	0	-7
9	2021	無発生**	8	3	-5
10	2022	同等	5	4	-1
キュウリべと病 (pp.38-44)					
11	2020	同等	5	6	+1
12	2022	同等	11	9	-2
イチゴうどんこ病					
香川県 (pp.45-51)					
13	2020	やや少	12	11	-1
14	2021	やや少	19	20	+1
15	2022	同等	16	16	0
福岡県 (pp.52-58)					
16	2021	同等	13	13	0
17	2022	同等	16	16	0
岡山県 (pp.59-69)					
18	2021-2022	同等***	0	0	0
19	2022-2023	無発生**	9	5	-4

（頁数はいずれも詳細版）

1）詳細及び無防除区における発生状況についてはマニュアル本文参照
2）定期防除区とAI予測区を比較した（p.35参照）。

* 減農薬栽培を慣行区とした。
** 両区とも対象病害無発生。
*** 農家圃場における試験。両区とも栽培末期に本病が発生したが、できるだけ無農薬としたいとの生産者の意向により、慣行区においても農薬散布を実施しなかった。

ようなことを含め、データの蓄積とともに予測精度が改善されていくことが期待されます。

ここまで本システムの利用法として、発出される感染リスクに対応した防除法について述べてきましたが、本システムの利用法として、感染リスクそのものを低減させるという使い方も考えられます。例えば、本システムでは数日後までの感染リスクを予測しますので、明日、明後日のリスク予測が高いようであれば、施設内の気象を制御して当日のリスクを低下させ、これによって病気の発生を抑制することが可能と考えられます。また作期全体を通して発出されるリスクの低下を図ることも考えられます。例えば多くの作物病害は栽植密度が高いと発生しやすくなりますが、そのような栽培で比較的高い感染リスクが出る、あるいはリスクの発出が頻繁であるような時には、以降の作付けにおいて栽植密度を適正に管理（低く）することでリスクの程度や発出頻度が低下することが期待されます。リスクの発出記録を病気の発生のしやすさの指標として使い、病気が発生しにくい栽培管理を行うことができれば、総合防除(IPM)をより高度に実践することにつながります。本プロジェクトではそこまでの開発や実証研究はできませんでしたが、次の段階ではそのような技術の開発も考えられます。

本システムのAI感染リスク予測ソフトウェアはアジャイル方式によって開発されています。これは、必要なスペックが達成されたと判断された段階で市場にリリースし、実際に利用されるなかでデータを収集しながら改良をすすめるという方法で、近年のソフトウェア開発でしばしば使われる手法です。このため一旦リリースされたソフトウェアも年々改良が加えられ、またデータが蓄積されることで予測精度が向上することが期待されます。プランテクト®を設置している施設あるいは地域のデータや栽培記録が蓄積されると、その施設あるいは地域により適合した予測をするようになります。データの蓄積に伴って予測精度の向上が半永久的に続けられることがAI感染リスク予測技術の大きな特徴です。予測精度の向上と、これまで蓄積されてきた慣行技術やその背景にある知識と経験が相まって、個々の圃場や地域に最適化した総合防除(IPM)技術がさらに発展していくことが期待されます。

古屋廣光